TEORIA DE CORDAS

Victor O. Rivelles

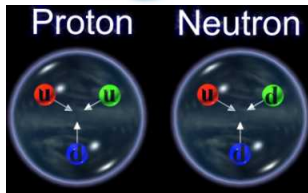
Instituto de Física
Universidade de São Paulo
e-mail: rivelles@fma.if.usp.br
http://www.fma.if.usp.br/~rivelles

Curso de Verão do IFUSP - 13/02/09

O Modelo Padrão das Partículas Elementares

- Sabemos que toda matéria que conhecemos é composta de átomos.
- Os átomos são compostos de um núcleo e elétrons.

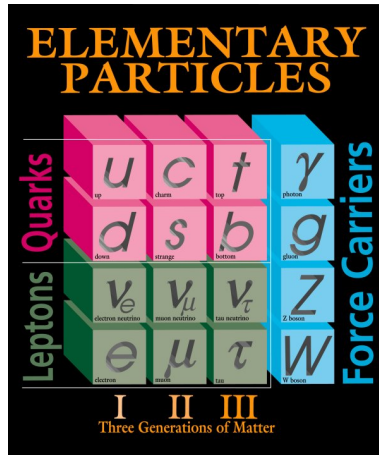
O Modelo Padrão das Partículas Elementares

O núcleo é composto de prótons e neutrons.

E os prótons e neutrons são compostos de QUARKS!

O Modelo Padrão das Partículas Elementares

- A matéria interage através de forças de interação
  - Força gravitacional
  - Força eletromagnética
  - Força fraca (ex: decaimento β do neutron)
  - Força forte (ex: forças nucleares)
- Forte: 1; EM: 10^{-2}; Fraca: 10^{-5}; Gravit.: 10^{-39}
- As forças fundamentais da Natureza são transportadas por partículas

O Modelo Padrão das Partículas Elementares

- O modelo padrão é descrito por uma teoria quântica de campos no qual as partículas são consideradas como pontuais.
- Teoria das forças eletromagnéticas e fracas: Teoria Eletrofraca ou de Salam-Weinberg
- Teoria para as forças fortes: Cromodinâmica Quântica
- Juntas formam o Modelo Padrão das Partículas Elementares.

O Modelo Padrão das Partículas Elementares

Organisation Europenne pour la Recherche Nucleaire (CERN)

Large Hadron Collider (LHC) - Tunel de 27 Km de circunferência

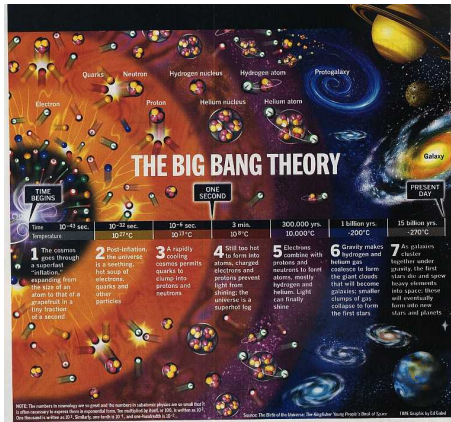
O Modelo Padrão das Partículas Elementares

Organisation Europenne pour la Recherche Nucleaire (CERN)

Large Hadron Collider (LHC) - Tunel de 27 Km de circunferência

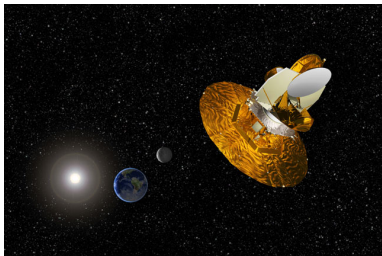
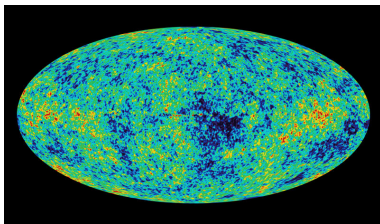
- Falta encontrar o Higgs
- É necessário estender o modelo padrão das partículas
- É necessário incluir a força gravitacional
- As partículas descritas pelo modelo padrão constituem 4% do conteúdo do universo

O Modelo Cosmológico Padrão

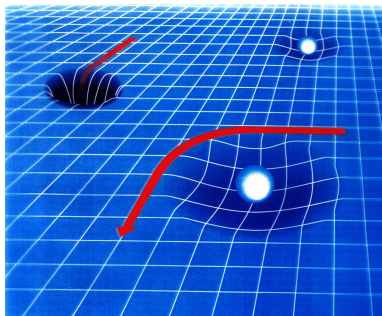
- O universo foi gerado num big bang que ocorreu a cerca de 13.7 bilhões de anos atrás
- O universo está em expansão
- Radiação cósmica de fundo à temperatura de 2.7 K
- Abundância dos elementos primordiais

O Modelo Cosmológico Padrão

Radiotelescópio

O telescópio espacial Hubble

O Modelo Cosmológico Padrão

O satélite WMAP

Diferenças de temperatura de micro K

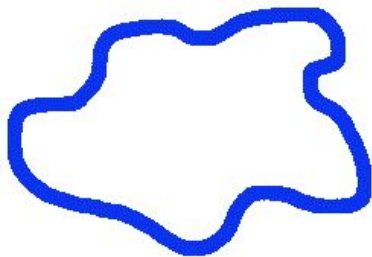
O Modelo Cosmológico Padrão

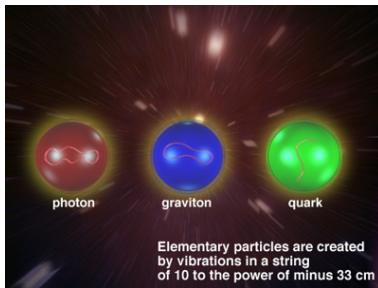
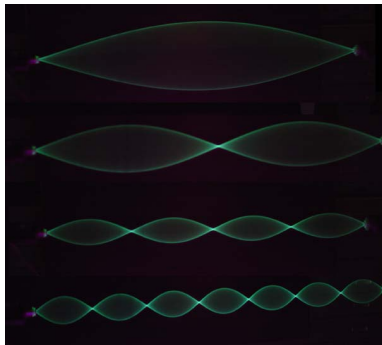
A Relatividade Geral é uma teoria da gravitação relativística

- Não há força gravitacional.
- A gravitação é devido curvatura do espaço.
- A matéria causa a curvatura do espaço.
- A curvatura determina o movimento da matéria.
- A curvatura determina todas as propriedades locais do espaço curvo.

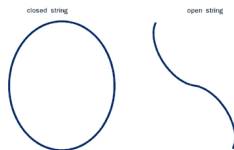
O Modelo Cosmológico Padrão

- Matéria comum: 4%
- Materia escura 22% – produz efeitos gravitacionais
- Energia escura 74% – expansão acelerada do universo
- Assimetria matéria – anti-matéria
- Constante cosmológica necessária para explicar a energia escura: $10^{-120} m_p^4$ ($m_p = 10^{19} GeV$)
- Constante cosmológica predita pela teoria quântica de campos: $1 m_p^4$
- Não existe uma teoria quântica da relatividade geral

Teoria de Cordas

Os objetos fundamentais não são pontuais mas são extensos: CORDAS

- As cordas não possuem estrutura interna
- A mecânica quântica não é modificada
- A relatividade restrita não é modificada
- A corda é relativística e quântica

Teoria de Cordas

As partículas elementares correspondem aos modos de vibração quantizados da corda relativística

Teoria de Cordas

- Cordas abertas dão origem aos bósons de gauge: fótons, $W^{\pm}$, Z, ...
- Descrevem versões mais gerais do modelo padrão das partículas elementares
- Cordas fechadas dão origem a gravitação.
- Descrevem uma **teoria de gravitação quântica**

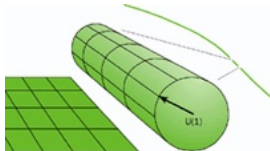
Supersimetria

A inclusão de férmions leva necessariamente à supersimetria

corda supersimétrica = SUPERCORDA

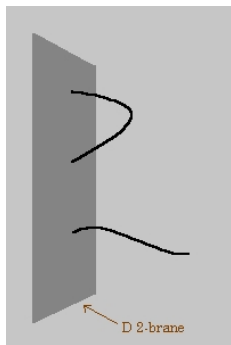
- À cada bóson associamos um companheiro supersimétrico fermiônico
- À cada férmion associamos um companheiro supersimétrico bosônico
- elétron -> selétron; fóton -> fotino; quark -> squark; gráviton -> gravitino, ...
- A supersimetria não se manifesta à baixas energias
- Pode ser descoberta no LHC

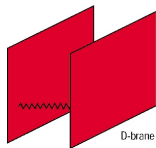
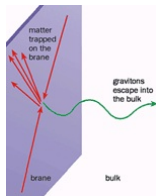
Dimensões Extras

Consistência requer a existência de **dimensões extras**.

- A supercorda vive em 10 dimensões
- A dimensionalidade do espaço-tempo passou a ser algo que deve ser determinado experimentalmente!
- Experiências com balanças de torção: 3D até alguns micrometros.
- LHC poderia detectar dimensões extras

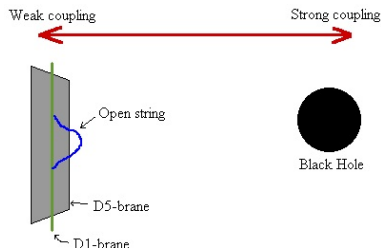
Branas

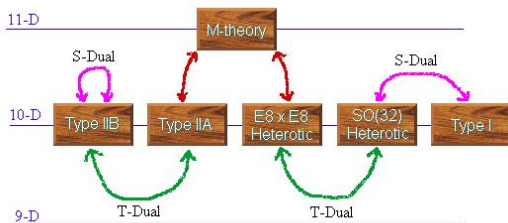
Hoje em dia os objetos fundamentais incluem cordas e membranas

de diversas dimensões: p-branas. ou D-branas

- Cordas abertas estão presas nas D-branas
- Condições de contorno de Dirichlet
- Superposição de D-branas dá origem à teorias de gauge

Branas

- Dimensões extras grandes
- Nosso universo poderia ser uma 3-brana imersa em 10 dimensões.
- O modelo padrão das partículas elementares vive na 3-brana
- A gravitação propaga-se em todas as dimensões

- Randall-Sundrum: 2 branas, numa a gravitação é forte e noutra é fraca.
- Se a escala de Planck estiver na região de TeV, o LHC poderia produzir buracos negros

Branas

- Alguns tipos de buracos negros podem ser descritos como uma configuração de cordas e branas fracamente acoplados.
- A entropia assim calculada fornece o mesmo valor que a entropia de Bekenstein-Hawking: $S = A/4$

Dualidade

- Dualidade na constante de acoplamento: dualidade S
- Dualidade na distância: dualidade T
- Isso significa que ainda não se conhecem os graus de liberdade fundamentais da teoria!!!

Conclusões

- A teoria de cordas produz uma teoria quântica da gravitação
- A teoria de cordas calcula a entropia de buracos negros
- É uma teoria unificada que contém o modelo padrão das partículas elementares e a gravitação
- Preve a existência de dimensões extras e supersimetria
- Fornece alternativas à teoria do big bang
- As bases teóricas ainda não estão completamente compreendidas

Mais informações

- O Universo Elegante, B. Greene (Cia. das Letras, 2001)
- A Teoria de Cordas e a Unificação das Forças da Natureza, V.O. Rivelles, A Física na Escola, Vol. 8, nº 1 (maio, 2007) pag. 10
- A First Course in String Theory, B. Zwiebach (Cambridge, 2004)
- http://www.fma.if.usp.br/~rivelles